

## LAS MINERALIZACIONES DE BARITA DE CERRO DEL HIERRO (SEVILLA). CARACTERISTICAS MINERALOGICAS Y GEOQUIMICAS

A. Miras Ruiz \* y E. Galán Huertos \*

### RESUMEN

En los materiales carbonatados del Cámbrico inferior del Cerro del Hierro (Zona de Ossa-Morena) existen diversos tipos de mineralizaciones de barita (estratoligadas, filonianas y kársticas). La barita está acompañada de calcita, hematites, goethita, y calcopirita accesoria, y limonitas y malaquita como fases tardías de alteración, y presenta una gran pureza química [ $>98\%$   $\text{SO}_4(\text{Ba}, \text{Sr})$ ].

Existe una relación entre la tipología de la barita y el contenido en Sr, en el sentido de filonianas < estratoligadas < kársticas.  $\delta^{34}\text{S}$  en las baritas oscila entre 32,7 ‰ para las estratoligadas y 20,7 ‰ para las epigenéticas. Las razones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  determinadas sobre baritas epigenéticas varían entre 0.70873 y 0.71112, lo que puede interpretarse como consecuencia de la participación de diversos tipos de soluciones mineralizantes.

Se propone un origen primario de las baritas estratoligadas, en relación con la diagénesis de los materiales carbonatados durante el Cámbrico inferior. Las baritas epigenéticas se formaron tras la Orogenia Hercínica, como consecuencia de la removilización de las baritas estratoligadas previas y con el aporte de Ba y Sr lixiviados de las rocas encajantes. Este último mecanismo parece haber sido más marcado en las baritas kársticas.

**Palabras clave:** Barita, geoquímica, Ossa-Morena, Cerro del Hierro, Sevilla.

### ABSTRACT

Different barite deposits (stratabound, vein and karstic types) are occurring in the Lower Cambrian carbonatic materials of the Cerro del Hierro, Sevilla (Ossa-Morena Zone). Calcite, hematite, goethite and minor chalcopirite are common associated minerals, with limonite and malachite as alterations. The content of barite can be as high as 98 %.

There is a close relationship between barite type and Sr content (vein < stratabound < karstic deposits).  $\delta^{34}\text{S}$  ranges between 32,7 ‰ (stratiform barites) and 20,7 ‰ (epigenetic barites). The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio for the epigenetic barites oscillates between 0.70873 and 0.71112 which could be the result of the influence of different mineralization solutions.

A primary origin for the stratabound barites is proposed, in relation with the diagenesis of the limestones occurred during the Lower Cambrian. Epigenetic barites were formed after the Hercynian Orogenesis by remobilization of the stratiform ores, with Ba and Sr supplied from the lixiviation of the host rocks. The last process could be much more important for the karstic barite formation.

**Key words:** Barite, geochemistry, Ossa-Morena Zone, Cerro del Hierro, Sevilla.

### Introducción

En este trabajo se exponen las principales características mineralógicas y geoquímicas de los diversos indicios de barita que aparecen junto a la aldea de Cerro del Hierro, situada entre Constantina y San Nicolás del Puerto (Sevilla) (fig. 1).

Las minas de Cerro del Hierro fueron explotadas desde la antigüedad para el beneficio de los óxidos de Fe, siendo escaso el interés por la barita, que sólo se menciona en algunos informes mineros de 1960. Sin embargo, la explotación de este mineral a principios de los ochenta fue muy importante, produciéndose un total de 50.000 Tm de barita,

\* Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Universidad de Sevilla. Sevilla 41071.

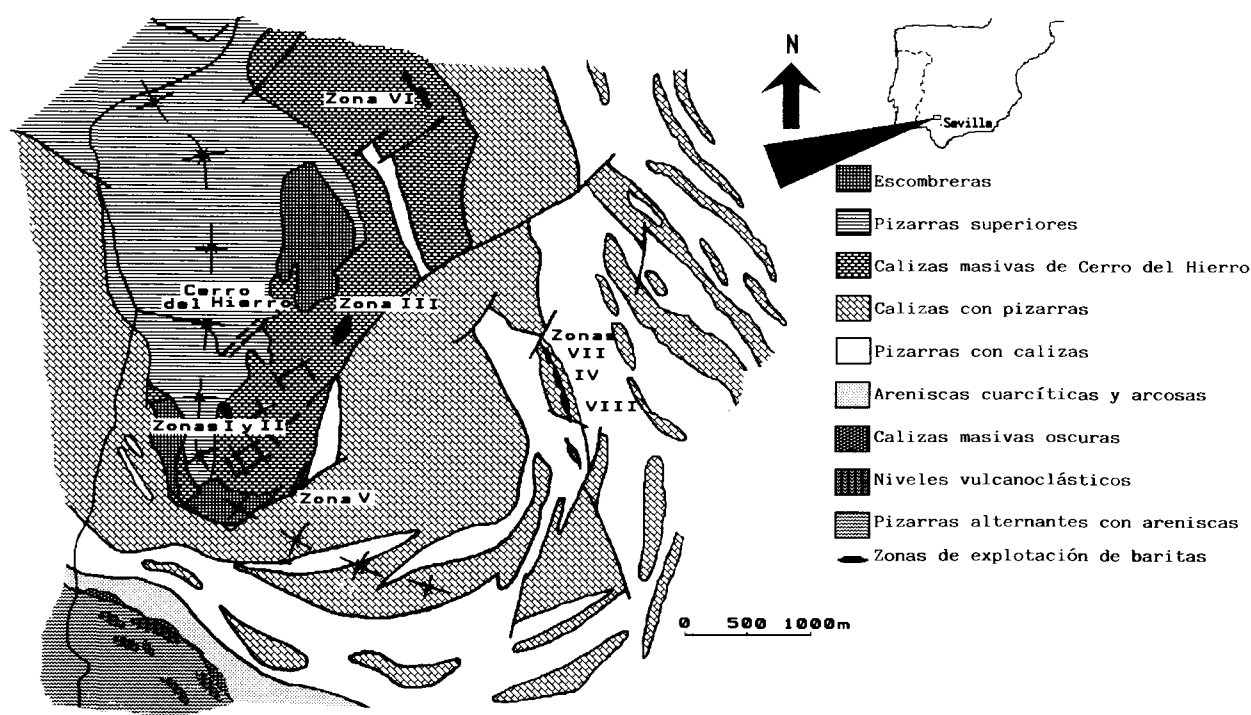


Fig. 1.—Esquema geológico del área de Cerro del Hierro.

que fue comercializada por las empresas Unibario, S.A., Northland, S.A. y por una cooperativa local.

En este área, la secuencia estratigráfica manifiesta ciertas características singulares respecto a otras series similares de la Zona de Ossa-Morena. En primer lugar el enorme desarrollo de los tramos carbonatados, que pueden alcanzar más de 120 m de potencia, y que caracterizan, junto con el resto de la serie, una unidad de tipo «cubeta» (Liñán, 1984), bastante subsidente, con un cierto parecido a la Unidad de Alconera (Liñán y Perejón, 1981).

En segundo lugar hay que hacer notar la existencia de una disconformidad en el seno de los materiales cámbricos, sellada por depósitos que parecen corresponder al desarrollo de un paleosuelo de tipo fersialítico o ferruginoso, formado sobre ciertas estructuras de karstificación de los materiales carbonatados, y bajo las capas pizarrosas con trilobites del Marianense inferior-medio (Liñán, Universidad de Zaragoza, comunicación personal).

Desde el punto de vista estructural, el Cerro del Hierro constituye la parte oriental de un sinclinal de flancos muy desiguales, cuyo plano axial de dirección general hercínica, forma una inflexión bastante marcada según N-S.

La secuencia estratigráfica establecida para este estudio consta de cuatro formaciones (fig. 2). La base

está constituida por una serie de tipo flyschoides, que comienza con un paquete basal conglomerático, formado por cantos cuarcíticos orientados (N100°-110°E), sobre los cuales descansa un potente tramo rítmico de pizarras alternantes con areniscas. En la parte superior de la serie pueden aparecer algunas intercalaciones vulcanoclásticas (tobas y aglomerados), estando marcado el techo por un paquete carbonatado masivo de tonos oscuros que aflora de manera discontinua.

Sobre los materiales anteriores descansa discordantemente, un tramo de areniscas cuarcíticas y arcosas blanquecinas, que han sido asimiladas a la Fm. Torreárboles (Liñán, 1978). Estas rocas presentan una textura blastopsamítica heterogranular, con granos de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, micas y óxidos de hierro (hematites), en una matriz sericitica.

Ambas formaciones han sido referidas en la bibliografía regional como una sola secuencia, conocida como «Capas del Tambor» (Simon, 1951), o Serie Detrítica Inferior (García Véllez, 1975).

En contacto cartográficamente discordante sobre las anteriores formaciones, aparece un potente tramo de pizarras con niveles calizos discontinuos (pizarras con calizas), que presenta marcados cambios laterales de facies, manifestando en general una ma-

yor proporción de carbonatos hacia el Oeste y hacia techo de la serie (calizas con pizarras). La parte superior de esta formación está constituida por un tramo de calizas masivas, parcialmente dolomíticas, que forman el paraje denominado Cerro del Hierro. Los bancos de calizas más potentes (varias decenas de metros) corresponden a rocas bioconstruidas, con abundantes restos de arqueociatos, y con facies de algas. Toda esta secuencia detrítico-carbonatada es conocida como Fm. Campoallá (Simon, 1951).

El conjunto más superior ocupa el núcleo de la estructura sinclinal, y está formado exclusivamente por pizarras verde-amarillentas y moradas, que suelen presentar una característica disyunción astillosa, y abundantes restos de trilobites (Delgadella s.p., *Ellipsocephallus* sp. y *Strenuella* s.p. según Liñán, comunicación personal) correspondientes al tránsito entre el Marianense inferior y medio. Esta formación es conocida como «Capas de Alanís» (Simon, 1951) o Fm. Detrítica Superior (García Vélez, 1975).

Las capas de este último conjunto descansan subparalelas a los materiales detrítico-carbonatados, fosilizando además un paleokarst sobre el que se desarrolló probablemente un potente suelo de tipo fersialítico-ferruginoso, que aunque erosionado, se conserva parcialmente en algunos puntos (disconformidad).

La Orogenia Hercínica dio lugar al plegamiento y posterior fracturación de todos estos materiales, condicionando el desarrollo del desmantelamiento y de nuevos procesos de karstificación, que son los que se evidencian hoy día, de una forma más espectacular. La génesis de esta nueva karstificación parece relacionarse con procesos de cryptocorrosión ocurridos durante el Neógeno (Delannoy *et al.*, 1989).

#### Características mineralógicas y texturales de las mineralizaciones

Las mineralizaciones de barita del Cerro del Hierro encajan en calizas de diversos puntos de la serie detrítico-carbonatada del Cámbrico inferior, y también se ve acompañada de oxi-hidróxidos de hierro como relleno de cavidades kársticas. Las observaciones realizadas a distintas escalas han permitido la diferenciación del posible carácter singenético o epigenético de estas mineralizaciones, en función de las relaciones morfológicas y texturales con los encajantes.

Las mineralizaciones «singenético/diagenéticas» o estratoligadas incluyen algunas manifestaciones texturales microscópicas tales como: pequeños cristales de barita diseminados en las rocas carbonatadas, o barita como fase detrítica de relleno de restos fósiles junto con cuarzo y micrita, y unos pocos indicios en

los que la barita aparece asociada a superficies estiolíticas, sustituyendo aparentemente a restos de organismos (arqueociatos), o como concreciones de posible carácter diagenético desarrolladas en calizas.

La barita que se encuentra en relación con estructuras de presión-disolución es masiva, de color crema o rosado por la presencia de óxidos de Fe, y su disposición suele ser muy irregular, aunque localmente puede verse concordante. En las proximidades de algunas explotaciones se han encontrado restos de arqueociatos constituidos por barita rosada que ha sustituido a la esparita que formaba las paredes del organismo. Las concreciones de barita suelen ser de tamaño centimétrico, y aparecen como formas irregulares, destacando su relieve por efecto de la resistencia a la disolución respecto a la caliza. Al microscopio estas baritas presentan una textura granoblástica heterométrica, localmente con recrystalizaciones en agregados fasciculares.

Las mineralizaciones «epigenéticas» son mucho más abundantes, y algunas de ellas se presentan en concentraciones explotables. Se incluyen los rellenos de fracturas, la aparición de barita en el seno de lodos ferruginosos que rellenan cavidades kársticas, la concentración mecánica de clastos baríticos en huecos de colapso, y las recrystalizaciones como cemento de brechas.

Los rellenos por barita de fracturas subverticales N135°E y N40°-60°E suelen ser comunes en este área, y constituyen la mayoría de las explotaciones realizadas. La morfología de los cuerpos baríticos es claramente filoniana, mostrando contactos netos e irregulares con las calizas encajantes, aunque localmente se observan zonas de brechificación. La potencia de estas mineralizaciones es muy variable, desde unos centímetros a más de 2 m, con corridas de hasta 300 m.

Este tipo de barita se suele presentar formando agregados tabulares de gran tamaño, radiados o en roseta de coloración blanca o ligeramente verdosa por la presencia de cristales aciculares de malaquita en las superficies de exfoliación. Al microscopio se observan grandes agregados fasciculares, o cristales tabulares idiomorfos, que pueden encontrarse intercrecidos entre sí y/o con calcita espática. No manifiestan signos de deformación aparente.

En las rocas encajantes se pueden apreciar numerosos rasgos de rubefacción e incluso se puede establecer una cierta secuencia de alteración generalizada, con recrystalización de calcita y/o dolomita, anquerita y siderita.

En el seno de los lodos ferruginosos limonítico-hematíticos que se encuentran relleno los huecos kársticos, se puede encontrar barita como masas irregulares de coloración grisácea, íntimamente asociada a los oxi-hidróxidos de Fe, y como grandes agre-

Tabla 1.—Composición química media de las baritas de Cerro del Hierro (18 muestras analizadas).

|             | SO <sub>4</sub> (Ba,Sr) | SiO <sub>2</sub> | SrO     | Fe      | Al       | Ca      | K      | Ti      | Zr       | Cu   | Zn  | Pb    | P       | Cl     |
|-------------|-------------------------|------------------|---------|---------|----------|---------|--------|---------|----------|------|-----|-------|---------|--------|
| $\bar{x}$   | 98,1                    | 1,0              | 1,8     | 1.280   | 1.103    | 169     | 32     | 639     | 396      | 27   | 4   | 31    | 124     | 95     |
| Rango ..... | 84,6-100                | 0,2-12,0         | 0,1-4,2 | <10.351 | 86-2.805 | 105-238 | 14-183 | 360-779 | 86-1.130 | 6-85 | <15 | 27-35 | 118-140 | 48-370 |

Sulfato y óxidos (%), elementos (ppm).

gados tabulares en roseta, cristales sueltos centimétricos con hábito prismático, o barita espática blanca, que se disponen de manera caótica en el relleno kárstico. Los cristales tabulares y espáticos presentan al microscopio bellas texturas fasciculares de gran tamaño, mientras que la barita grisácea masiva presenta una textura granoblástica heterométrica con tendencia cataclástica, que puede contener inclusiones idiomorfas de cuarzo y sustituir localmente a carbonatos.

La concentración mecánica y la recrystalización de barita como cemento de brechas de colapso son poco significativas en el conjunto de las mineralizaciones, y su origen parece relacionarse con inestabilidades gravitatorias muy recientes.

En el Cerro del Hierro, además de la barita se pueden observar diversas menas metálicas, destacando la hematites por su abundancia, ya que constituye la mayor parte de la masa de oxi-hidróxidos de Fe que rellenan los huecos kársticos. También es frecuente encontrar huecos rellenos de goethita y localmente calcopirita. Como fases tardías de alteración supergénica se forman ocre limoníticos y localmente malaquita.

### Composición química

Los constituyentes mayoritarios de las baritas [SO<sub>4</sub>(Ba,Sr) y SiO<sub>2</sub>] se analizaron por métodos gravimétricos con una precisión de  $\pm 1$  %, disgregando las muestras por fusión alcalina (Porccu y Riboldini, Universidad de Cagliari, comunicación personal, 1988). Los elementos Sr, Fe, Al, Cu, Pb y Zn se midieron por espectrofotometría de absorción atómica con una precisión de  $\pm 5$  %, tras atacar las muestras con una mezcla de ácidos FH, ClO<sub>4</sub>H y agua regia. Esta misma metodología fue aplicada para el análisis de las rocas encajantes y regionales. Los elementos K, Ti, Zr, P y Cl fueron determinados mediante espectrometría de fluorescencia de rayos-X con una precisión similar a la obtenida por absorción atómica.

Los hechos más significativos que se revelan a partir de los análisis efectuados son: a) elevada pureza de las baritas cuyos promedios superan el 98 % SO<sub>4</sub>(Ba,Sr) (tabla 1), y b) gran dispersión de valores en estroncio.

No existe ninguna relación aparente entre la tipología de las mineralizaciones y el contenido en SO<sub>4</sub>(Ba,Sr), sin embargo se ha detectado una tendencia general hacia menores contenidos en SrO en las baritas filonianas respecto a las estratiformes, y de éstas frente a las kársticas (fig. 3). De esta relación parece deducirse que las baritas filonianas tuvieron que formarse a temperaturas similares o inferiores a las implicadas en la génesis de las baritas estratiformes y kársticas, ya que en caso contrario presentarían un mayor contenido en Sr (Church, 1979; Barbieri *et al.*, 1984).

Teniendo en cuenta este comportamiento del Sr, los filones de barita pueden interpretarse como el resultado de la removilización de baritas preexistentes, dispersas o en yacimientos estratiformes, con una proporción en SrO del 1,5 al 2,5 % (Miras, 1991). Durante los procesos de recrystalización, la razón Ba/Sr del sólido es siempre mayor que la de la solución con la que está en equilibrio (Hanor, 1966), por lo que el Ba es extraído de la solución de forma preferente al Sr, que a su vez puede lixivarse parcialmente en medios naturales. De esta forma las baritas filonianas tendrían contenidos en SrO de igual orden o menores que las estratiformes (Miras *et al.*, 1988).

Estas consideraciones preliminares se realizan suponiendo una buena representatividad de los análisis efectuados. Sin embargo, la amplia dispersión de Sr y los elevados valores obtenidos en algunas baritas filonianas y especialmente en las baritas kársticas, pueden cuestionar las anteriores afirmaciones.

Por ello, se realizó un estudio por DRX, para determinar el porcentaje de sustitución isomórfica en la serie SO<sub>4</sub>(Ba,Sr) sobre muestras filonianas y kársticas que presentaban algún tipo de textura secuencial de precipitación (Hanor, 1966). Se escogió para este tipo de análisis la variación en el espaciado de la reflexión 210 de la barita con respecto a la 111 del silicio (patrón interno), con una velocidad de barrido de 0,002°/seg. Los resultados obtenidos se expresan como % m SO<sub>4</sub>Sr que sustituye al SO<sub>4</sub>Ba. El estudio estadístico comparativo entre los resultados de esta técnica y el análisis por vía húmeda de muestras naturales utilizadas como patrones, ha permitido determinar un intervalo de confianza en este tipo de medidas de  $\pm 0,31$  % m SO<sub>4</sub>Sr.

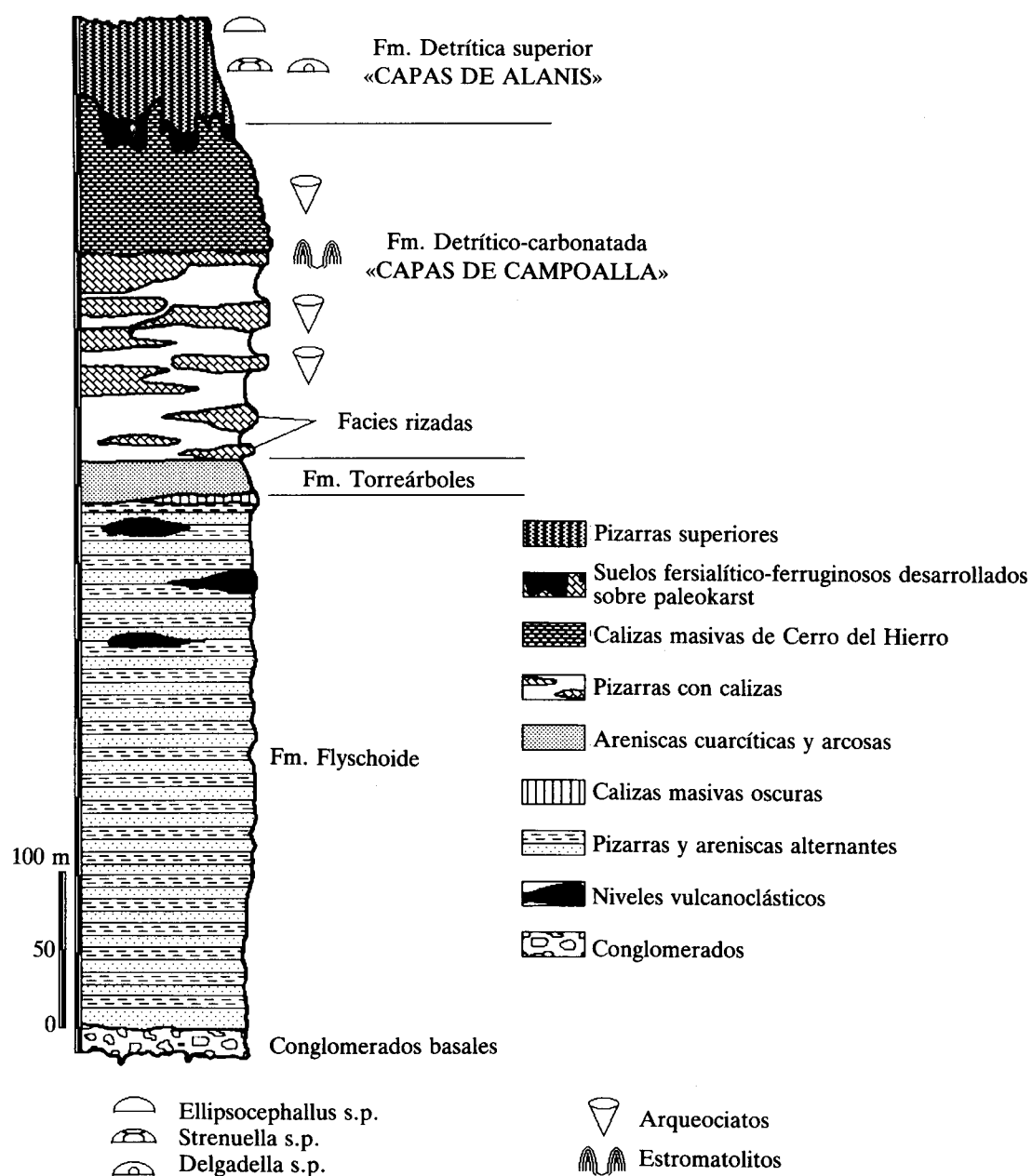


Fig. 2.—Columna litoestratigráfica establecida en el área de Cerro del Hierro.

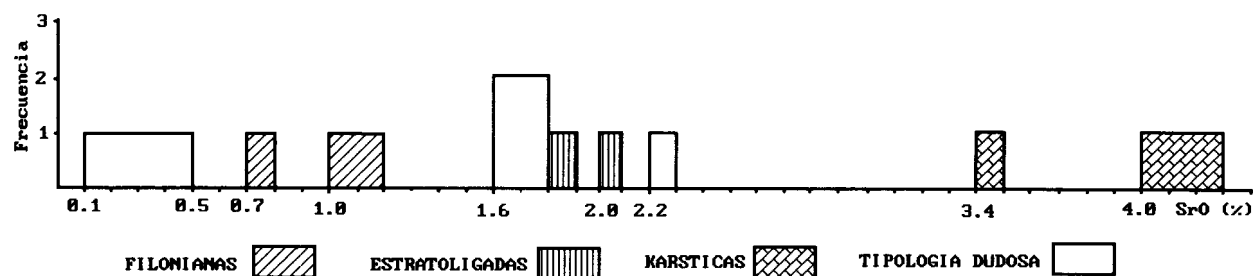


Fig. 3.—Histograma del contenido en SrO de las baritas, mostrando la tendencia de agrupamiento: Filonianas < Estratoligadas < Kársticas.

Este método ha servido para mostrar notables variaciones en el contenido en Sr, a nivel de individuo cristalino, tanto en baritas kársticas como en filonianas, que demuestran la existencia de zonaciones, probablemente debidas a diferentes y sucesivas etapas de cristalización (fig. 4).

En consecuencia, el modelo genético propuesto para las mineralizaciones epigenéticas, por recristalización de baritas previas, tiene que tener en cuenta el particular contexto geológico del Cerro del Hierro (potente tramo carbonatado con diversas estructuras de karstificación) en el que podría haberse generado una precipitación de la barita en un sistema abierto, de manera que una parte del Sr y Ba habría sido incorporado desde las rocas carbonatadas encajantes (tabla 2), incluso con la participación de las soluciones oxidantes que originaron las estructuras kársticas (Miras y Rodríguez Vidal, 1990).

Esta última idea no se ha podido confirmar por el estudio microtermométrico debido a la dificultad de los estudios de inclusiones fluidas en baritas. La investigación realizada sólo ha permitido determinar la composición acuosa de las inclusiones, que contienen Na, K y otros cationes como Ca y Mg, y con salinidades entre 19-26 % eq. ClNa ( $\bar{x}=20,4\%$ ) para las baritas filonianas y entre 15-22% eq. ClNa ( $\bar{x}=17,8\%$ ) para las kársticas. Esta diferencia podría indicar la posible participación de soluciones meteóricas diluyentes, especialmente en la formación de las baritas kársticas.

El resto de los datos químicos obtenidos son de utilidad para una mejor caracterización de estas baritas, lo que sin duda es importante desde el punto de vista aplicado.

Los contenidos en hierro son dispersos y vienen dados por la presencia de impurezas de oxi-hidróxidos de Fe o carbonatos, consecuencia en su mayor parte de fenómenos de alteración ferruginosa (sideritización y limonitización). Estas impurezas son fácilmente separables por métodos magnéticos (Miras y Galán, en prensa).

Estas baritas apenas poseen calcio, a pesar de los encajantes carbonatados. El resto de los elementos analizados (K, Cu, Zn, Pb, Cr, Ti, Zr, P y Cl) no comportan variaciones geoquímicas significativas de interés.

En la composición química de las rocas encajantes y regionales se manifiesta un alto contenido en bario y en estroncio, especialmente en las rocas carbonatadas (tabla 2), lo que junto con el elevado número de mineralizaciones existentes regionalmente, conduce a pensar en una anomalía geoquímica positiva en bario.

#### Datos de isótopos estables

Las razones isotópicas de azufre de muestras baríticas y de rocas carbonatadas fueron determinadas por Geochron Laboratories (Cambridge, MA,

Tabla 2.—Composición química media de las rocas encajantes y regionales del área de Cerro del Hierro (muestras analizadas: 6 rocas carbonatadas y 3 silicatadas).

| Muestras                | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | CaO   | MgO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | Pc    | Rb | Sr    | Ba    | Cu | Pb | Zn |
|-------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|-------------------|------------------|------------------|-------|----|-------|-------|----|----|----|
| Rocas carbonatadas..... | 5,22             | 1,13                           | 0,84                           | 0,30 | 52,11 | 0,84 | 0,49              | 0,35             | 0,03             | 39,53 | 54 | 2.541 | 1.398 | 19 | 33 | 22 |
| Rocas silicatadas .     | 70,54            | 12,14                          | 5,04                           | 0,07 | 2,62  | 1,83 | 1,46              | 2,06             | 0,80             | 2,92  | 76 | 463   | 707   | 16 | —  | 36 |

Oxidos (%), elementos (ppm).

(—) No determinado.

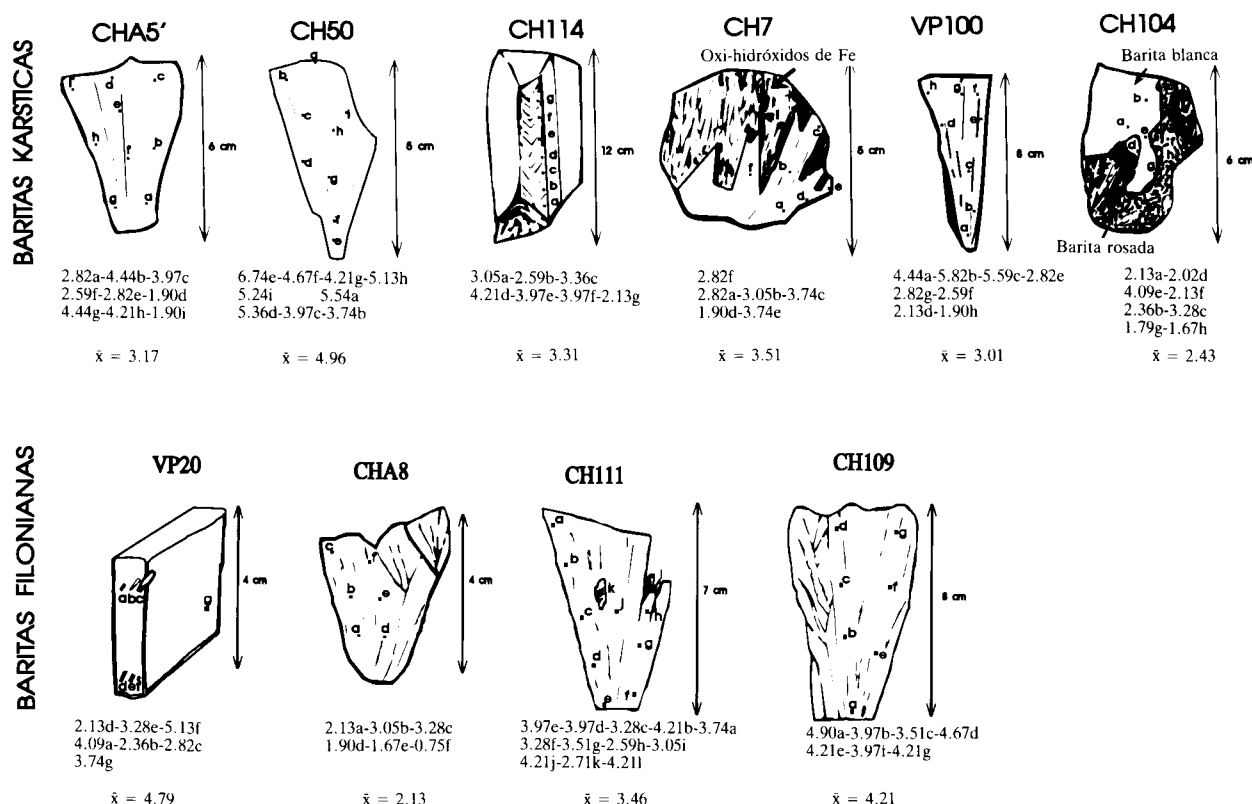


Fig. 4.—Variación del contenido en Sr a pequeña escala en muestras baríticas con texturas secuenciales de precipitación. Los datos se expresan como porcentaje molar de  $\text{SO}_4\text{Sr}$  en sustitución isomórfica de la barita.

USA). Los datos se expresan en notación  $\delta(\text{‰})$  relativos al estándar Toilita del Cañón del Diablo ( $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}=0.450045$ ).

Los resultados obtenidos en las baritas oscilan entre 17,5 y 32,7 ‰ (tabla 3), correspondiendo el valor más elevado a una muestra de barita estilolítica, que concuerda con los valores establecidos para el agua del mar durante el Cámbrico inferior ( $\bar{x}=31\text{‰}$ , según Maynard & Okita, 1991). Sin embargo, los valores determinados en las rocas carbonatadas son muy diferentes entre sí (7,1 y 43,3 ‰), y no concuerdan con los de la barita. El valor más alto podría derivar de la acción de bacterias reductoras de sulfatos, que producirían un fraccionamiento en los isótopos de azufre en el sentido de captar los más ligeros hacia sistemas abiertos, dejando el líquido residual enriquecido en  $^{34}\text{S}$  (Goodfellow & Jonasson, 1984). El valor más bajo se asocia a una muestra carbonatada con nódulos de sílex de posible afinidad volcánica.

Las baritas filonianas y kársticas muestran valores entre 20,1 y 24,6 ‰, lo que indica un empobrecimiento relativo en el isótopo pesado respecto a las baritas estratolíticas, que puede ser congruente con

el aporte de azufre procedente de la lixiviación de algunos tipos de rocas encajantes.

Se han realizado siete determinaciones de razones isotópicas  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en muestras baríticas (tabla 3), utilizándose un espectrómetro de masas VG Micro-mass® 54E del Dipartimento di Scienze della Terra (Roma, Italia). Las razones medidas fueron normalizadas a la razón  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}=0.1194$  del estroncio natural, y corregidas en relación al  $^{87}\text{Sr}/^{86}$  del estándar N.B.S. SRM 987 ( $\text{SrCO}_3$ ), cuyo valor obtenido durante este estudio condujo a una razón media de  $0.71024 \pm 3$  ( $2\sigma$ ).

Este tipo de datos isotópicos en baritas suele proporcionar excelentes resultados para la correlación con las razones isotópicas originales de los fluidos mineralizantes (Kessen *et al.*, 1981; Lange *et al.*, 1983; Kesler & Jones, 1981; Barbieri *et al.*, 1987; Cortecci *et al.*, 1987). En nuestro estudio, sin embargo, se han debido producir desviaciones significativas respecto a las razones isotópicas originales, por los procesos de diagénesis, recristalización y alteración que han sufrido todas las mineralizaciones de este área.

Las relaciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  frente a  $1/\text{Sr}$  (fig. 5) no

Tabla 3.—Datos isotópicos de azufre y estroncio en baritas y muestras carbonatadas de Cerro del Hierro.

| BARITAS  |              |                           |         |          |          |                                 |
|----------|--------------|---------------------------|---------|----------|----------|---------------------------------|
| Muestras | Tipo         | $\delta^{32}\text{S}$ (‰) | BaO (%) | Sr (ppm) | Rb (ppm) | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ |
| CH-1     | Kárstica     | —                         | 61,98   | 17.250   | 199      | 0,70873                         |
| CH-5     | Fil/karst?   | —                         | 59,94   | 35.853   | 186      | 0,71112                         |
| CH-6     | Filoniana    | —                         | 63,71   | 2.368    | 210      | 0,71008                         |
| CH-A6    | Filoniana    | —                         | 63,64   | 2.706    | 187      | 0,71041                         |
| CH-A7    | Kárstica     | —                         | 63,88   | 8.625    | 189      | 0,71069                         |
| CH-VP2   | Filoniana    | —                         | 62,31   | 15.728   | 185      | 0,71061                         |
| CH-VP1   | Kárstica     | 24,6                      | 60,03   | 33.909   | 208      | 0,71096                         |
| CH-100   | Filoniana    | 20,1                      | 63,07   | 9.978    | —        | —                               |
| CH-114   | Karst/Fil?   | 21,4                      | —       | —        | —        | —                               |
| CH-117   | Estilolítica | 32,7                      | —       | —        | —        | —                               |

| CALIZAS |                  |                           |          |          |          |  |
|---------|------------------|---------------------------|----------|----------|----------|--|
| Muestra | Tipo             | $\delta^{32}\text{S}$ (‰) | Ba (ppm) | Sr (ppm) | Rb (ppm) |  |
| CH-VP4  | Caliza con sílex | 7,1                       | —        | 779      | 39       |  |
| CH-110  | Caliza           | 43,3                      | 393      | 12.077   | 64       |  |

(—) No determinado.

permiten una interpretación simple para la génesis de la barita, sino que por el contrario parecen indicar la participación de diversos fluidos mineralizantes con diferentes composiciones isotópicas.

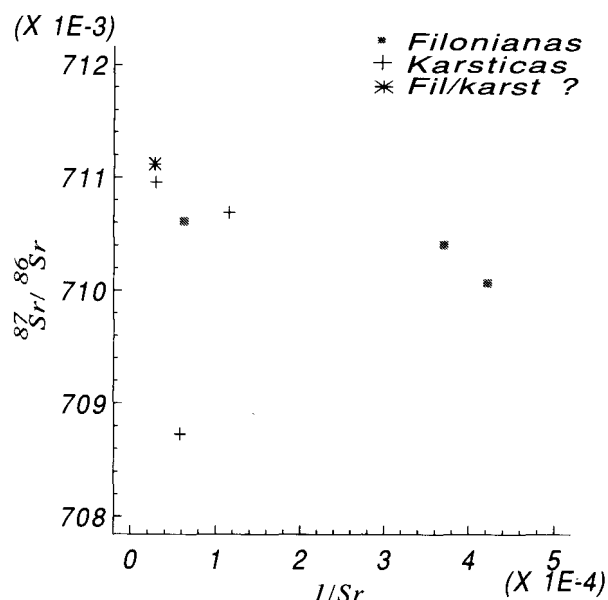
Los datos isotópicos de Sr obtenidos en muestras carbonatadas de formaciones semejantes ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.7092\pm 4$ ; Miras, 1991) están próximos a los estimados para el agua del mar durante el Cámbrico inferior; además este tipo de rocas carbonatadas presenta valores muy altos en estroncio ( $>2.000$  ppm) como ocurre en las rocas de Cerro del Hierro (tabla 2). Estos datos de Sr se corresponden perfectamente con los valores de las aguas subsuperficiales marinas que pudieron originar los depósitos estratoligados de barita (Durum & Haffty, 1963).

Las razones isotópicas  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en las baritas filonianas son relativamente homogéneas, mostrando un valor medio de 0.71055, lo que concuerda con los promedios referidos por diversos autores para baritas de origen hidrotermal en numerosos yacimientos (Barbieri *et al.*, 1982; Lange *et al.*, 1983; Barbieri *et al.*, 1984).

El contenido en Rb de las baritas estudiadas es alto, sin embargo las proporciones Rb/Sr obtenidas ( $\bar{x}=0.03$ ) no son significativas en cuanto a tener que realizar modificaciones en dichas razones isotópicas causadas por la desintegración de  $^{87}\text{Rb}$ .

## Conclusiones

El área de Cerro del Hierro constituye una importante anomalía geoquímica positiva en bario, manifes-

Fig. 5.—Representación de los datos isotópicos  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  vs.  $1/\text{Sr}$  en muestras baríticas del Cerro del Hierro con diversas tipologías.

tándose mediante numerosas mineralizaciones de barita con diversas tipologías (singéticas y epigenéticas).

Se ha puesto de manifiesto una relación entre el contenido en Sr y la tipología de la barita, de modo que las muestras filonianas tienen menor contenido que las estratiformes, y éstas menor que las kársticas. Este hecho es congruente con una génesis para las mineralizaciones filonianas por recrystalización de baritas preexistentes a bajas temperaturas.

Las baritas kársticas, a pesar de su elevado contenido en Sr, también han podido originarse por procesos de recrystalización en un sistema abierto, con aporte de Sr y Ba de las calizas encajantes que han podido ser movilizados, tanto por soluciones hidrotermales, como por las aguas meteóricas que originaron la karstificación.

Los distintos tipos de barita, el amplio rango de contenidos en Sr y la existencia de zonaciones composicionales a pequeña escala, junto con los resultados de isótopos de azufre y estroncio, indican un modelo genético complejo con diversas etapas de mineralización, condiciones diferentes, y posiblemente diversas fuentes.

La procedencia del Ba inicial parece claramente ligada a los materiales carbonatados cámbricos que habían producido las mineralizaciones estratoligadas primarias (diagenéticas). La Orogenia Hercínica pudo generar diversos tipos de fluidos hidrotermales que migraron en las etapas distensivas y que removilizaron parte de las baritas anteriores y lixiviaron Ba y Sr de los escajantes, produciendo depósitos epigenéticos de tipo «Mississippi Valley».



## AGRADECIMIENTOS

Al Profesor M. Barbieri del Dipartimento di Scienze della Terra, Universidad «La Sapienza» (Roma), por la realización de los análisis isotópicos de estroncio. Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Grupo de Trabajo n.º 4031 «Mineralogía Aplicada» de la Junta de Andalucía.

## Referencias

- Barbieri, M.; Masi, U. and Tolomeo, L. (1982). Strontium geochemistry in the epithermal deposits from the Apuan Alps (northern Tuscany, Italy). *Chem. Geol.*, 35, 351-356.
- Barbieri, M.; De Vivo, B.; Perrone, V. and Turco, E. (1984). Strontium geochemistry of the San Donato Unit barite mineralization (Calabria, Italy). *Chem. Geol.*, 45, 279-288.
- Barbieri, M.; Bellanca, A.; Neri, R. and Tolomeo, L. (1987). Use of strontium isotopes to determine the sources of hydrothermal fluorite and barite from northwestern Sicily (Italy). *Chem. Geol.*, 66, 273-278.
- Church, T. M. (1979). Marine Barite. In: R. G. Burns (ed.), *Marine Minerals. Reviews in Mineralogy*, 7, Mineral. Soc. Am., 175-209.
- Cortecchi, G.; Reyes, E.; Leone, G. and Turi, B. (1987). Sulfur, oxygen, carbon, and strontium isotope geochemistry of the Sarrabus-Gerrei Mining District, Southeastern Sardinia, Italy. *Econ. Geol.*, 82, 1592-1610.
- Delannoy, J. J.; Díaz del Olmo, F. y Pulido, A. (1989). Geomorfología del Cerro del Hierro. *Reunion Franco-Espagnole sur les karst Mediterraneens d'Andalussie Occidentale*, 210-213.
- Durum, W. H. and Haffty, J. (1963). Implications of the minor element content of some major streams of the world. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 27, 1-11.
- García Vélez, A. (1975). Estudio geológico, mineralógico y metalogénico de la zona de Guadalcanal-Constantina (Sevilla). *Publ. Univ. Salamanca*, 78-92.
- Goodfellow, W. D. and Jonasson, I. R. (1984). Ocean stagnation and ventilation defined by  $\delta^{32}\text{S}$  secular trends in pyrite and barite, Selwin basin, Yukon. *Geology*, 12, 583-586.
- Hanor, J. S. (1966). *The origin of barite*. Ph. D. Dissertation, Univ. Harvard, 157 págs.
- Kesler, S. E. and Jones, L. M. (1981). Sulfur and strontium geochemistry of celestite, barite, and gypsum from the Mesozoic basins of northern Mexico. *Chem. Geol.*, 31, 211-224.
- Kessen, K. M.; Woodruff, M. S. y Grant, K. (1981). Gangue mineral  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios and the origin of Mississippi Valley type mineralization. *Econ. Geol.*, 776, 913-920.
- Lange, S.; Chaudmudi, S. and Clauer, N. (1983). Strontium isotopic evidence for the origin of barites and sulfides from the Mississippi Valley-Type ore deposits in Southeast Missouri. *Econ. Geol.*, 78, 1255-1261.
- Liñán, E. (1978). *Bioestratigrafía de la Sierra de Córdoba*. Tesis Doctoral, Univ. Granada, 212 págs.
- Liñán, E. (1984). Introducción al problema de la Paleogeografía del Cámbrico de Ossa-Morena. III Reunión Grupo de Ossa-Morena, Elvas-Aracena, 283-313.
- Liñán, E. y Perejón, A. (1981). El Cámbrico inferior de la Unidad de Alconera, Badajoz (SW de España). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.)*, 79, 125-148.
- Maynard, J. B. and Okita, P. M. (1991). Bedded barite deposits in the United States, Canada, Germany, and China: Two mayor types based on tectonic setting. *Econ. Geol.*, 86, 364-376.
- Miras, A.; Hernández, M. J. y Galán, E. (1988). Nota sobre la presencia de mineralizaciones de barita al Sur de Llerena (Badajoz, España). *Bol. Soc. Esp. Min.*, 11(1), 173-178.
- Miras, A. y Rodríguez Vidal, J. (1990). Geología y depósitos de barita del Cerro del Hierro (Sevilla). *Bol. Soc. Esp. Min.*, 13(1), 66-67.
- Miras, A. (1991). *Geoquímica y Mineralogénesis de los depósitos de barita de Badajoz y Sevilla. Zona central de Ossa-Morena*. Tesis Doctoral, Univ. Sevilla, 481 págs.
- Minas, A. y Galán, E. Distribución, características generales y aplicaciones de la barita del Suroeste español (Badajoz y Sevilla). *Bol. Geol. y Min.* (en prensa).
- Simon, W. (1951). Untersuchungen im Paläozoikum von Sevilla (Sierra Morena, Spanien). *Abh. Senckenberg. Naturf. Ges.*, 485, 31-52.

Recibido el 20 de julio de 1992  
Aceptado el 28 de septiembre de 1992